



**Mercado Secundário de Slots Aeroportuários: Uma Análise
Baseada num Modelo de Oligopólio**

por

Adriana Filipa Santos da Silva

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Economia pela Faculdade
de Economia do Porto

Orientada por:

Maria Paula Vicente Sarmento

Julho, 2017

Nota biográfica

Adriana Silva, natural da cidade de Amarante, estudou Ciências Socioeconómicas durante o seu percurso pelo ensino secundário tendo, em 2011, ingressado na Licenciatura em Economia na Universidade da Beira Interior.

Após terminar a licenciatura em 2014 continuou os estudos na área económica, no Mestrado em Economia na Faculdade de Economia do Porto.

Em 2015, realizou um estágio no departamento de Contabilidade, na empresa MOTA-ENGIL.

Em 2017, no âmbito do Mestrado em Economia, realizou a dissertação intitulada “Mercado Secundário de Slots Aeroportuários: Uma Análise Baseada num Modelo de Oligopólio”.

Agradecimentos

Primeiramente, a minha sincera gratidão vai para a minha orientadora Prof. Dr.^a Maria Paula Vicente Sarmento que se mostrou sempre disponível para me auxiliar. O seu inestimável contributo e incentivo foram indispensáveis para a realização e conclusão da presente dissertação.

Agradeço aos meus pais, todo o apoio, incentivo e investimento na minha educação ao longo dos anos.

Ao meu querido irmão mais novo, Tiago André, que foi sempre uma fonte de motivação na minha vida.

Por último, à Margarida, pelo companheirismo ao longo de mais uma etapa académica e, principalmente, pela sua amizade.

Resumo

Na presente dissertação são focados os pontos fulcrais do funcionamento da atribuição de *slots* aeroportuários, os critérios de atribuição e possíveis diferentes abordagens de atribuição (com foco no mercado secundário de *slots*). A atribuição primária gera algumas ineficiências e a Comissão Europeia encontra-se a rever as suas regras relativamente à regulamentação dos *slots* aeroportuários com a introdução da possibilidade de se recorrer ao mercado secundário.

Neste contexto é relevante perceber quais os impactos da aquisição de *slots* aeroportuários no lucro das companhias aéreas. No presente trabalho são avaliadas situações onde uma companhia aérea, com restrição de capacidade, adquire *slots* aeroportuários das suas rivais e quais são as implicações nos seus lucro assim como no lucro das rivais.

Para analisar o problema enunciado é desenvolvido, com base na teoria dos jogos, um modelo na qual se assume uma rede simples *hub-and-spoke* onde as companhias aéreas envolvem-se numa competição do tipo Cournot. Do modelo conclui-se pela que em algumas situações existe interesse e disponibilidade das companhias aéreas para recorrerem ao mercado secundário de *slots* aeroportuários.

Códigos-JEL: R41;L93

Palavras-chave: Aeroportos, Slot trading, Transporte Aéreo

Abstract

This thesis has as main focuses the focal points of the allocation of airport slots, their allocation criteria and possible different allocation approaches (focusing on the secondary trading). The primary allocation generates some inefficiencies and the European Commission is currently reviewing its rules concerning the regulation of the airport slots considering the possibility of resorting the secondary trading.

In this context, it is relevant to understand what are the main impacts, on the airlines' profits, of the acquisition of airport slots. This study considers a scenario where a capacity constrained airline acquires airport slots from its rivals aiming to understand what are the implication on its profits as well as in the profits of their competitors.

To analyse the problem previously stated a model, based on game theory, was developed. It assumes a simple network hub-and-spoke where the airlines compete according with the Cournot model. It is possible to conclude that airlines have in some situations some interest and availability to use the secondary market airport slots.

JEL-codes: R41, L93

Key-words: Airports, Slot trading, Air Transportation

Índice

Nota biográfica	i
Agradecimentos	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iv
Índice de Tabela	vi
Índice de Figuras	vi
Introdução	1
Capítulo 1. Revisão de Literatura	3
1.1 <i>Slots</i> Aeroportuários	3
1.2 Direitos de Propriedade dos <i>Slots</i>	6
1.3 Critérios Utilizados na Atribuição dos <i>Slots</i>	6
1.4 Críticas ao Atual Sistema de Atribuição dos <i>Slots</i>	9
1.5 Outros Meios de Atribuição dos <i>Slots</i> Aeroportuários.....	9
1.6 Comércio Secundário de <i>Slots</i>	11
Capítulo 2. Metodologia	16
2.1. Modelo Base.....	18
2.1.1. Funções Procura e Funções Lucro	18
2.1.2. Equilíbrio de Nash	22
2.1.3. Exemplo Numérico	23
2.2. Modelo com Restrição de Capacidade da Companhia Aérea 1	26
2.2.1. Equilíbrio de Nash	29
2.2.2. Exemplo Numérico	29
2.3. Troca de <i>Slots</i> com Restrição de Capacidade da Companhia Aérea 1	35
2.3.1. Exemplo 1	35
2.3.2. Exemplo 2	37
Conclusão.....	41
Referências bibliográficas	43

Índice de Tabela

Tabela 1 – Resultados obtidos do modelo base (exemplo numérico).....	24
Tabela 2 – Resultados obtidos do modelo com restrição de capacidade (exemplo numérico).....	30
Tabela 3 – Modelo base vs Modelo com restrição de capacidade	31
Tabela 4 – Lucro Máximo (exemplo numérico)	33
Tabela 5 – Exemplo 1	36
Tabela 6 – Exemplo 2	38

Índice de figuras

Figura 1 – Rede <i>hub-and-spoke</i>	16
--	----

Introdução

O transporte aéreo é uma indústria em crescimento. De acordo com a previsão do tráfego de passageiros da IATA (Associação de Transporte Aéreo Internacional), espera-se que o número de passageiros em 2034 chegue aos 7,3 mil milhões, (em 2014 registaram-se 3,3 mil milhões de passageiros) tendo uma taxa anual de crescimento a rondar os 4,1% (IATA, 2014). Este crescimento contínuo do transporte aéreo leva a uma situação onde a procura pelas infraestruturas aeroportuárias excede a oferta de capacidade disponível provocando situações onde alguns aeroportos lidam com problemas de congestionamento. Nos aeroportos que enfrentam problemas de congestionamento são utilizados mecanismos de atribuição de *slots* aeroportuários (European Commission, 2011a).

Uma vez que a construção de novas pistas está fortemente limitada, o atual sistema europeu de gestão do tráfego aéreo (ATM) provavelmente não deverá ser capaz de lidar, de uma forma eficiente, com crescimento de tráfego previsto na Europa (Castelli et al, 2011). Desta forma, existe uma necessidade de projetar procedimentos que explorem os recursos escassos disponíveis nas infraestruturas aeroportuárias. NERA (2004) e DotEcon (2001) concluem que o atual sistema de atribuição de *slots* prejudica a concorrência e gera situações de ineficiências. Alguns autores, como Starkie (1998) e Brueckner (2009), analisaram o mecanismo mais eficiente para a atribuição de *slots*.

A Comissão Europeia encontra-se a rever as suas regras relativamente à regulamentação dos *slots* aeroportuários com a introdução da possibilidade de se recorrer ao mercado secundário (European Commission, 2011a). De acordo com a análise efetuada pela Comissão Europeia, conclui-se que as mudanças propostas, até 2025, possibilitam: um aumento anual médio de 1,6 % ou seja, um aumento de 23,8 milhões de passageiros transportados, benefícios líquidos de 5300 milhões de euros e um crescimento significativo do emprego que pode chegar a 62 000 postos de trabalho (European Commission, 2011b).

A presente dissertação tem como objetivos perceber se existe interesse para as companhias aéreas recorrerem a um mercado secundário de *slots* aeroportuários. Pretende-se responder à seguinte questão de investigação: Quais são os impactos no lucro

das companhias aéreas quando são adquiridos *slots* aeroportuários no mercado secundário?

Esta questão é relevante pois, até onde conhecemos, a literatura económica tem-se focado pouco nos impactos sobre o lucro das companhias aéreas quando existe aquisição e transferência de quantidades entre diferentes mercados. O contributo da investigação é o desenvolvimento de um modelo teórico que utiliza uma rede simples *hub-and-spoke* que liga três aeroportos, com dois mercados com voos diretos e um mercado com voos com escala (passageiros de conexão).

Uma vez efetuadas as análises, conclui-se que existem situações lucrativas onde uma companhia aérea, com restrição de capacidade, adquire quantidades/*slots* aeroportuários das suas rivais, num mercado e transfere-os para outros mercados.

A dissertação apresenta a seguinte estrutura: no capítulo 1 é apresentada a revisão de literatura do tema em estudo. Neste capítulo é apresentado o contexto histórico nos EUA e na Europa relativamente à atribuição de *slots* aeroportuários seguindo-se a atual realidade de congestionamento aeroportuário e respetivos sistemas de atribuição dos *slots*. O capítulo 1 aborda os direitos de propriedade dos *slots*, os critérios utilizados na atribuição dos *slots* na Europa (*grandfather rights* e regra *use-it-or-lose-it*), as críticas ao atual sistema de atribuição, outros meios de atribuição de *slots* aeroportuário e o comércio secundário dos *slots*. No Capítulo 2 é apresentada a metodologia utilizada na dissertação e os resultados obtidos. Por último, no capítulo das conclusões, são apresentadas as principais conclusões obtidas.

Capítulo 1. Revisão de Literatura

1.1 Slots Aeroportuários

Inicialmente, nos EUA, a atribuição dos *slots* aeroportuários era feita numa base de *first-come*, onde a coordenação entre as companhias aéreas existentes era escassa. Nos anos sessenta do século XX verifica-se que, em alguns aeroportos, as filas para aterragem e partida tornaram-se longas e demoradas nos horários de pico. Assim, com o propósito de contornar o problema dos atrasos, em 1968, a FAA (Federal Aviation Authority) aprovou uma regra que limita (restringe o número total de voos dos aeroportos) o número de *slots* em alguns aeroportos (La Guardia, Washington National, J.F. Kennedy e O'Hare International) (Condorelli, 2007).

Com a desregulamentação do mercado do transporte aéreo, verificou-se um aumento no número de companhias aéreas e em 1985 foram introduzidas novas regras pela FAA – os *slots* passaram a ser atribuídos às companhias aéreas com base na precedência histórica e o comércio secundário de *slots* é permitido (Condorelli, 2007). Um *slot* é definido como uma autorização que o coordenador (autoridade independente responsável pela atribuição dos *slots* em aeroportos coordenados, que deve agir de forma neutra, transparente e não discriminatória) concede a uma companhia aérea permitindo-lhe assim usar as infraestruturas necessárias para a chegada e partida de aviões numa determinada data e hora específica (IATA, 2017a).

Na Europa, como parte do processo de desregulamentação e liberalização do mercado do transporte aéreo, a atribuição dos *slots* encontra-se regulamentada desde 1993 onde em cada Estado-Membro o coordenador faz a atribuição preliminar dos *slots* (Condorelli, 2007). Os *slots* são atribuídos pelo coordenador, de acordo com princípios de precedência histórica, os *grandfather rights*, e a regra de *use-it-or-lose-it* (Condorelli, 2007).

Castelli et al. (2011) referem que devido ao crescimento previsto do tráfego aéreo na Europa para os próximos dez a vinte anos, o atual sistema europeu de gestão do tráfego aéreo (ATM) provavelmente não deverá ser capaz de lidar com esse crescimento esperado de uma forma eficiente. Os autores expõem que, devido ao facto de a construção de novas

pistas ser fortemente limitada, a falta de capacidade aeroportuária é uma restrição importante para o desenvolvimento do tráfego aéreo. Desta forma existe uma necessidade de projetar procedimentos que explorem os recursos escassos disponíveis nas infraestruturas aeroportuárias.

No caso de os principais aeroportos enfrentarem situações de escassez de capacidade, geram-se problemas de congestionamento aeroportuário, uma vez que existe um desequilíbrio entre a oferta de infraestruturas e a procura por parte dos operadores (Menaz e Matthews, 2008). A falta de capacidade aeroportuária, conduz a uma situação onde os *slots* são escassos e valorizados pelas companhias aéreas. Como resultado desta falta de capacidade e dos problemas resultantes da mesma, na Europa, as autoridades decidiram, em determinados aeroportos congestionados, limitar o número de descolagens e de aterragens para um número especificado por hora correspondentes à capacidade das pistas (Gruyer e Lenoir, 2003).

Com a coordenação aeroportuária é possível uma utilização mais eficaz e eficiente das infraestruturas, de uma forma onde seja possível atingir a maximização dos benefícios para o maior número de usuários de aeroportos. A IATA (2017a), para os propósitos da coordenação aeroportuária, classifica os aeroportos de acordo com 3 níveis de congestionamento:

Nível 1: refere-se aos aeroportos onde a capacidade da infraestrutura aeroportuária é adequada, de uma forma onde seja possível, em todas as épocas, a satisfação da procura dos utilizadores (IATA, 2017a).

Nível 2: refere-se a aeroportos onde existe a possibilidade de ocorrer congestionamento durante alguns períodos (dia, semana ou época). Mas nestes aeroportos os problemas de congestionamento temporários podem ser resolvidos através de cooperação voluntária entre as companhias aéreas e não existe atribuição de *slots* aeroportuários (IATA, 2017a).

A autoridade responsável nomeia um facilitador que deve possuir os recursos necessários para proporcionar serviços de organização, ser independente e agir de uma forma transparente e neutra. O propósito deste facilitador é dinamizar as operações programadas das companhias aéreas que usam as infraestruturas aeroportuárias de aeroportos de nível 2 (IATA, 2017a). Para efeitos de facilitação de horários em aeroportos de nível 2 as companhias aéreas devem facultar orientações ao facilitador sobre a

totalidade das suas operações, assim como respetivas alterações que estejam planeadas (existem alguns voos que podem estar isentos dos procedimentos locais especiais, como por exemplo, os voos humanitários) (IATA, 2017a).

Nível 3: Este nível refere-se a aeroportos onde a procura pelas infraestruturas aeroportuárias não é satisfeita. Isto ocorre devido ao facto de os prestadores de serviços não desenvolverem infraestruturas suficientes ou porque os governos impuseram condições que restringem a capacidade (IATA, 2017a). Nos aeroportos congestionados o coordenador é nomeado para alocar os *slots* às companhias aéreas de forma a gerir a capacidade disponível. Um aeroporto só é designado como nível 3 após uma análise da procura e da capacidade da infraestrutura aeroportuária (IATA, 2017a). Alguns aeroportos de nível 3 têm poucos *slots* disponíveis, ou os *slots* pretendidos podem não estar disponíveis em horas de pico, então as companhias aéreas devem ter conhecimento de aeroportos alternativos (IATA, 2017a).

De acordo com os critérios da IATA (2017a), um aeroporto é considerado como sendo do nível 3 quando:

- A procura da infraestrutura aeroportuária ultrapassa, de forma significativa, a capacidade disponível no aeroporto durante períodos de tempo relevantes;
- Não existe forma de atenuar o problema em curto prazo, ou seja, a expansão da infraestrutura aeroportuária necessária para satisfazer a procura não é possível em curto prazo;
- Ocorreram tentativas com o propósito da resolução do problema por meio de ajustes de horário voluntário mas falharam ou foram ineficazes;
- Por conseguinte, exige-se um processo de atribuição de *slots* aeroportuários nos aeroportos de nível 3. As companhias aéreas necessitam possuir um *slot* que tenha sido atribuído por um coordenador, para que então possa usar a infraestrutura aeroportuária nos períodos em que ocorre a atribuição do *slot*.

1.2 Direitos de Propriedade dos *Slots*

“Todos os anos, mais de 1,5 mil milhões de passageiros - 43% do tráfego global - partem de mais de 175 aeroportos coordenados. Espera-se que o número de aeroportos coordenados em *slots* cresça significativamente devido à falta de expansão na infraestrutura aeroportuária para lidar com o aumento da procura” (IATA, 2017b). Uma vez que a indústria do transporte aéreo está em crescimento, torna-se relevante perceber quem pode reivindicar o direito de propriedade dos *slots*.

Gruyer e Lenoir (2003) salientam que como o aspeto jurídico pode ser impreciso, então algumas organizações como os aeroportos, recorrem ao Estado para uma definição mais explícita de quem detém os direitos de propriedade dos *slots*. Os autores referem que os *slots* pertencem ao Estado, assim este tem o direito de vender os *slots*. Os autores salientam a importância de o Estado manter esses direitos de propriedade e simplesmente conceder os direitos de uso para determinados períodos especificados.

Este tópico é importante para definir quem deve beneficiar do rendimento obtido com a possível venda dos *slots*. Sieg (2010) menciona que a definição inicial de propriedade dos *slots* produz lucros inesperados. De acordo com Gruyer e Lenoir (2003), se os *slots* fossem propriedade dos aeroportos e se todo o rendimento do leilão das vendas dos *slots* fosse transferido para os próprios aeroportos, então estes não teriam incentivos para investir de forma a aumentar as suas capacidades, isto porque não iriam querer afetar o rendimento elevado proveniente dos *slots* escassos.

1.3 Critérios Utilizados na Atribuição dos *Slots*

Nos aeroportos em que a procura de *slots* para a aterragem e descolagem excede a capacidade disponível, isto é, nos aeroportos que enfrentam problemas de congestionamento (aeroportos de nível 3), são utilizados mecanismos de atribuição de *slots* aeroportuários (European Commission, 2011a). Na Europa, o regulamento dos *slots* aeroportuários inspira-se nas diretrizes mundiais da Associação do Transporte Aéreo Internacional (IATA) onde o objetivo é a utilização otimizada da capacidade aeroportuária assim como condições de concorrência leais (European Commission, 2011a). O sistema de atribuição de *slots* aeroportuários baseia-se na regra CE 95/93 –

Regulamento CEE 95/93 de 18 de Janeiro de 1993 (European Commission, 2011b), doravante designada de regra CE. A regra CE tem vindo a ser utilizada para clarificar as regras de atribuição de *slots* em toda a Europa e aplica-se aos aeroportos congestionados, ou seja, a aeroportos de nível 3. No entanto, embora a regra CE tenha harmonizado as atribuições dos *slots* aeroportuários na Europa, não consegue chegar a uma distribuição economicamente eficiente (Gruyer e Lenoir, 2003).

Se, após uma análise aprofundada da capacidade de um aeroporto, se concluir que esta capacidade é manifestamente insuficiente face à procura existente, o Estado-Membro está obrigado a designá-lo como aeroporto coordenado e a designar um coordenador para o aeroporto, que ficará responsável por atribuir os *slots* aeroportuários (European Commission, 2011a). Oliveira (2016) refere que em situações de congestionamento e falta de capacidade aeroportuária, os aeroportos congestionados são tipicamente administrados sob um regime de atribuição de *slots*, o que potencialmente cria barreiras à entrada de novas companhias aéreas. O autor salienta também que são raras as possibilidades de realocação redistributiva de *slots* aeroportuários dotados de atributos atrativos para novos rivais que possam de fato aumentar a contestabilidade aos mercados das empresas dominantes do setor.

Independentemente do sistema usado para atribuição de *slots*, o sistema deve ser avaliado pelos benefícios que gera para a economia. A atribuição ótima dos *slots* seria aquela que proporciona o máximo benefício para a sociedade. Uma vez que o que é ótimo num determinado momento no tempo, pode não permanecer ótimo por um longo período, a atribuição também deve ser capaz de evoluir e se ajustar com o propósito de que a redistribuição dos *slots* tenha um uso mais eficiente (Gruyer e Lenoir, 2003).

De acordo com Butcher (2012) os critérios utilizados na atribuição dos *slots* são: (1) *Grandfather rights*: precedência histórica ou “direitos adquiridos”; (2) Regra *use-it-or-lose-it* – no caso de uma companhia aérea fazer pouco uso dos *slots* que lhe tinham sido atribuídos, acabará por perder esses *slots* que serão então atribuídos a outras companhias aéreas que conseguem usa-los mais eficientemente; (3) Prioridades para os serviços regulares – caso exista concorrência na procura pelo *slot*, então é tida em conta a frequência com que o *slot* pretende ser utilizado (os *slots* serão atribuídos aos serviços que pretendem utiliza-los com mais frequência.)

Ulrich (2008) refere que na Europa a atribuição de *slots* aeroportuários decorre em conferências semestrais, onde um coordenador supervisiona a alocação de *slots* que ocorrem entre os aeroportos e companhias aéreas. De Wit e Burghouwt (2008) referem que os pedidos das companhias aéreas são satisfeitos de acordo com os *grandfather rights* e que uma parte dos *slots* disponíveis está reservada para as companhias aéreas entrantes e para a expansão das companhias aéreas, na chamada “pool de *slots*”. Quando os *slots* são utilizados de forma ineficiente e ocorre o incumprimento da regra *use-it-or-lose-it*, os *slots* retornam para a “pool de slots”. (De Wit e Burghouwt, 2008).

Os *grandfathers rights* foram projetados numa época em que a procura pelas infraestruturas aeroportuárias era satisfeita e o congestionamento nos aeroportos era inexistente. Este princípio, baseado na precedência histórica ou “direitos adquiridos”, concede às companhias aéreas a possibilidade de reivindicar o *slot* no próximo período quando este já lhes foi atribuído na época anterior (Butcher, 2012). A principal modificação nos *grandfathers rights* foi a introdução da regra *use-it-or-lose-it* onde passou a ser definido que, para a companhia aérea manter os *slots* no próximo período, é necessário que pelo menos 80% dos voos tenham sido realizados (Sieg, 2010). A regra *use-it-or-lose-it*, também conhecida como regra 80-20, oferece às companhias aéreas a flexibilidade para cancelar até 20% de uma série de *slots* sem colocar em risco os seus direitos de *grandfathers rights* (Bauer, 2008).

Ulrich (2008) refere que este processo de atribuição de *slots* aeroportuários é bem-sucedido, tem uma aceitação e aplicabilidade quase mundial apontando a importância de o coordenador agir de forma neutra, transparente e não discriminatória. De acordo com a IATA (2017a), para a nomeação de um coordenador a autoridade responsável deve consultar o organismo de gestão aeroportuário, as companhias aéreas que usam o aeroporto de nível 3 assim como as suas respetivas organizações representantes (por exemplo, a IATA). O coordenador, para além de neutro, deve promover a transparência e a não discriminação, deve possuir especialização suficiente para proporcionar os serviços de coordenação, deve ter conhecimento prévio em programação de horários para companhias aéreas e ser financeiramente independente de qualquer parte individualmente interessada (IATA, 2017a).

1.4 Críticas ao Atual Sistema de Atribuição dos *Slots*

Em contraste com o indicado em cima, existem também críticas relevantes ao sistema de atribuição de *slots* aeroportuários descrito. De Wit e Burghouwt (2008) referem que os direitos que fornecem acesso às infraestruturas aeroportuárias não são atribuídos às companhias aéreas que poderiam utilizá-los de uma forma mais valiosa, eficiente e benéfica. Menaz e Matthews (2008) apontam que o sistema conduz a situações onde se verificam atrasos nos voos, sendo que as companhias aéreas não consideram as externalidades provocadas pelos atrasos.

Apesar de uma parte dos *slots* disponíveis ser reservada para as companhias aéreas entrantes, o procedimento de atribuição de *slots* descrito acima, acaba por funcionar como uma barreira de entrada para as companhias aéreas que pretendem entrar no mercado, o que restringe a concorrência (NERA, 2004). De Wit e Burghouwt (2008) referem que os *grandfather rights* beneficiam as companhias aéreas já estabelecidas no mercado como também não permitem uma atribuição de *slots* eficiente. A regra *use-it-or-lose-it* previne que as companhias aéreas incumbentes adquiram *slots* apenas como forma de restringir a competição e com o propósito de dissuadir a entrada de novas companhias aéreas. Isto porque, se uma companhia aérea detiver o *slot* tem de o usar para que o consiga manter, e caso pretenda mantê-lo apenas com o propósito de impedir a entrada de companhias rivais no mercado a regra *use-it-or-lose-it* obriga a que 80% dos voos sejam efetuados o que dissuade a companhia aérea deste comportamento (Sieg, 2010).

1.5 Outros Meios de Atribuição dos *Slots* Aeroportuários

O sistema de atribuição de *slots* aeroportuários acima mencionado, que utiliza os critérios de precedência histórica (*grandfather rights*) e regra *use-it-or-lose-it* tem sido criticado, como em NERA (2004) e DotEcon (2001) que concluem que o controle administrativo utilizado prejudica a concorrência e leva a ineficiências e (Menaz e Matthews, 2008) que refere o sistema como sendo ineficaz e desigual. Tendo em conta as experiências passadas com o sistema, é possível perceber que é importante explorar algumas abordagens alternativas aos critérios mencionados. Neste contexto torna-se importante abordar as sugestões dadas por Kociubiński (2014):

a) Leilão

Através de leilões, o *slot* será atribuído à companhia aérea que estiver disposta a pagar o preço mais alto, pois com este sistema as companhias aéreas são capazes de comprar *slots* apenas com base na melhor oferta de preço. Os leilões podem ser de diferentes tipos como, por exemplo, os seguintes:

- leilão de Vickrey.
- leilão *clockproxy*.
- leilão *first-price package*.

b) Regulamento Administrativo

Neste sistema, Kociubiński (2014) realça que a regulamentação administrativa pode ser entendida como o oposto dos sistemas de leilão e de negociação, uma vez que a regulamentação administrativa se baseia no pressuposto de que os *slots* são propriedade pública e as autoridades públicas são responsáveis pela sua atribuição.

c) Preços de Congestionamento

Kociubiński (2014) aponta que os preços de congestionamento são um sistema que cobra os usuários, o que significa aumentar as taxas aeroportuárias nos horários de pico e reduzindo-as em períodos de baixa procura.

d) Secondary Trading

Neste sistema Kociubiński (2014) realça que os *slots* adquiridos são apenas os de maior valor para as companhias aéreas. O resultado final será a eficiência independentemente da atribuição inicial pois as companhias aéreas venderão os *slots* não utilizados.

Czerny (2010) refere que em aeroportos congestionados o número de *slots* é limitado o que implica limitação das operações aéreas. O autor salienta que através de um aumento das taxas aeroportuárias é possível reduzir a procura até que o nível ótimo de congestionamento seja atingido. A taxa aeroportuária nessa situação é designada de preço de congestionamento. O autor aponta também que teoricamente, quer a atribuição de *slots* e quer a utilização de preços de congestionamento, pode conduzir a um ótimo resultado no bem-estar sendo necessário que as autoridades aeroportuárias possuam informação

perfeita. No entanto, geralmente as autoridades lidam com incerteza considerável relativamente aos benefícios sociais e custos das operações e nesse caso as duas abordagens conduzem a resultados diferentes.

Czerny (2010), analisa os efeitos no bem-estar das duas abordagens referidas: a alocação de *slots* baseada no mercado (em termos de um leilão de *slots*) e a abordagem através do preço de congestionamento. A análise é feita para apenas um único aeroporto e também para uma rede de aeroportos, em situação de incerteza relativamente aos custos de congestionamento e aos benefícios do passageiro. O autor conclui que um esquema de preços de congestionamento é mais benéfico (do ponto de vista do bem-estar) quando os custos de congestionamento são afetados pela incerteza. Conclui também que o preço do congestionamento é superior a uma atribuição de *slots* em todos os casos considerados. O autor salienta que, no conjunto, os resultados mostram que, na prática, a escolha dos instrumentos a utilizar deve depender da forma das funções e do tipo de rede aeroportuária.

1.6 Comércio Secundário de *Slots*

Após a atribuição primária dos *slots* aeroportuários (por exemplo, pelos *grandfathers rights*) os *slots* podem ser redistribuídos entre as companhias aéreas em um mercado secundário. A maneira mais direta de introduzir o comércio secundário seria permitir às companhias aéreas a liberdade de comprar e vender *slots* aeroportuários, sendo que existe outras abordagens, tais como o estabelecimento de um mercado formal onde os *slots* podem ser comprados e vendidos, talvez em uma base anónima (NERA, 2004).

Nos aeroportos do Reino Unido (London Heathrow e London Gatwick) já existe em funcionamento um mercado secundário de *slots* aeroportuários (DotEcon, 2006). Em 2008, circulou a informação de que de que a Continental Airlines pagou 209 milhões de dólares americanos por quatro pares de *slots* no aeroporto de Heathrow (European Commission, 2011a). A troca de *slots* em mercado secundário pode garantir que todos os *slots* sejam atribuídos de forma eficiente aos utilizadores adequados, no entanto, é necessário que o mercado seja regulado de forma a garantir que não ocorram problemas de concentração do mercado.

A aplicação do regulamento (CEE) melhorou de forma considerável a atribuição de *slots* nos aeroportos europeus congestionados. No entanto é necessário ter em consideração que o regulamento foi introduzido numa época em que o mercado europeu era dominado por um reduzido número de companhias e atualmente, a concorrência é bastante mais forte (European Commission, 2011a).

A Europa a Comissão Europeia está a rever as regras relativamente à possibilidade de se recorrer ao mercado secundário. A proposta que visa a alteração do Regulamento (CEE) n° 95/93 do Conselho, tendo como objetivos o reforço dos mecanismos de atribuição e utilização dos *slots* aeroportuários garantindo a sua aplicação, e a promoção e estimulação da concorrência leal (European Commission, 2011a).

O conteúdo dos três pacotes de medidas propostos pode resumir-se como exposto a seguir (European Commission, 2011c):

- ❖ O primeiro pacote aumentaria a eficiência do processo de atribuição e da utilização dos *slots* aeroportuários mesmo sem alterações na natureza administrativa do sistema. As medidas propostas são as seguintes (European Commission, 2011c):
 - Reforçar a independência e a transparência do processo de atribuição de *slots* aeroportuários;
 - Assegurar a correta utilização dos *slots* aeroportuários em aeroportos congestionados;
 - Integrar a atribuição dos *slots* aeroportuários no quadro do “céu único Europeu”.
- ❖ O segundo pacote é mais ambicioso que o primeiro, pelo que será necessária uma revisão substancial do regulamento pois prevê expressamente a possibilidade de criação de um mercado secundário de *slots* aeroportuários a nível da UE. As medidas propostas são as seguintes (European Commission, 2011c):
 - Elementos do primeiro pacote;
 - Comércio secundário de *slots* aeroportuários, com transparência nas transações e concorrência;
 - Revisão da regra *use-it-or-lose-it* (regra dos 80-20) aplicável aos novos operadores no mercado de transporte aéreo e definição de

critérios mais estritos relativamente a prioridade na atribuição de *slots* (direitos adquiridos);

— Melhoria da utilização dos *slots* aeroportuários em aeroportos congestionados.

- ❖ O terceiro pacote compreende todos os elementos do primeiro e do segundo pacote, prevendo também a devolução de *slots* aeroportuários com direitos adquiridos ou direitos de antiguidade e a sua atribuição por leilão à melhor oferta (European Commission, 2011c).

Após uma avaliação do impacto proporcionado pelo conteúdo dos três pacotes de medidas é possível perceber-se os custos e benefícios para o período 2012-2025. Relativamente à capacidade aeroportuária o impacto do primeiro pacote é limitado e prevê um aumento anual médio de 0,4 % do número de passageiros transportados (European Commission, 2011a). É também esperado que o primeiro pacote gere 2,4 milhões de euros de custos administrativos (European Commission, 2011c).

Relativamente ao segundo pacote estima-se que, no período 2012-2025, o crescimento do tráfego anual de passageiros seja de 1,6 % (23,8 milhões), tendo um impacto positivo no emprego que pode chegar a 62 000 postos de trabalho a tempo inteiro (European Commission, 2011a). O segundo pacote tem um impacto negativo no ambiente superior ao do primeiro pacote e benefícios económicos líquidos de 5,3 mil milhões de euros, sendo os únicos custos incorridos são resultantes da necessidade de assegurar a transparência das transações secundárias (cerca de 0,2 milhões) (European Commission, 2011c).

Relativamente ao terceiro pacote estima-se que, no período 2012-2025, o crescimento do tráfego anual de passageiros seja de 1,9% a 2 % (27,3 a 28,7 milhões de passageiros por ano) (European Commission, 2011a). O pacote produziria, consequentemente, benefícios económicos de 2800 a 5000 milhões de euros sendo que não gera custos adicionais aos do segundo pacote (European Commission, 2011a). Sendo que o terceiro pacote tem um impacto negativo no ambiente superior ao do primeiro pacote e é o que fornece os melhores resultados de criação de emprego, mas é também o que tem o maior impacto negativo na acessibilidade regional (European Commission, 2011c).

Considerando a avaliação dos três pacotes de medidas, os seus benefícios e custos, e tendo em consideração critérios de eficiência, coerência e eficácia, a Comissão Europeia recomenda a aplicação do segundo pacote (European Commission, 2011a).

Brueckner (2009) analisa as abordagens baseadas em preços e quantidade para a gestão do congestionamento de um aeroporto congestionado. O autor usa um modelo onde o aeroporto é usado por duas companhias aéreas, internalizam o congestionamento e atendem a dois mercados completamente separados fora do aeroporto congestionado. A estrutura de mercado é um duopólio de Cournot. O poder de mercado é neutralizado pela procura perfeitamente elástica o que permite uma comparação "pura" entre o preço do congestionamento e as políticas de alocação de *slots* aeroportuários. O autor conclui que um regime de distribuição de *slots* aeroportuários onde *slots* são distribuídos às companhias aéreas e, em seguida, negociados através de uma “*clearing house*” (comércio secundário), é um regime eficiente. O autor também concluiu que o regime de leilão de *slots* e o preço de congestionamento são eficientes.

Basso e Zhang (2010) analisam os mecanismos de preços e mecanismos de atribuição de *slots* aeroportuários utilizando o modelo de Brueckner (2009) onde adicionalmente consideram explicitamente o papel dos lucros aeroportuários na comparação das abordagens de preço versus *slot*. Como Basso e Zhang (2010) consideram que é o aeroporto que escolhe o esquema que maximiza os seus lucros, então este escolheria leiloar os *slots* aeroportuários, o que produziria um maior volume de tráfego e conseqüentemente maior congestionamento nos aeroportos.

Starkie (1998) analisa o problema da atribuição dos *slots* em aeroportos congestionados, recorrendo a evidência dos EUA onde o mercado secundário é permitido desde 1985 quando foram introduzidas novas regras pela FAA. O autor considera as implicações da ausência de preços de compensação do mercado, e examina argumentos contra e a favor do mercado secundário de *slots*. As conclusões mais pertinentes retiradas são: um mercado secundário encoraja a utilização de *slots* de forma mais eficiente, mas o mercado contribui pouco para o aumento da concorrência nos serviços; um mercado secundário não beneficia as companhias aéreas incumbentes com a vantagem da precedência histórica – que como visto anteriormente, beneficia as incumbentes em detrimento das entrantes, podendo criar desincentivos à entrada no mercado.

Reitzes et al. (2015) investigam os efeitos competitivos de trocas ou vendas de *slots*. Os autores utilizam um modelo onde as companhias aéreas atribuem os seus *slots* através das rotas consistentes com um equilíbrio de Nash-Cournot.

No modelo desenvolvido, Reitzes et al. (2015) assumem que: (1) as companhias aéreas são idênticas, com exceção das suas atribuições de *slots* – isto é, enfrentam os mesmos custos e oferecem um serviço homogêneo em uma determinada rota; (2) as companhias aéreas oferecem um serviço ponto-a-ponto, sem escalas, ou seja, não são assumidos passageiros de conexão.

As principais conclusões obtidas por Reitzes et al. (2015) são: com dotações simétricas, um aumento no número de companhias aéreas com *slots* aumenta o bem-estar social e o excedente do consumidor; as transferências de *slots* de companhias aéreas maiores para companhias menores aumentam o bem-estar social assim como excedente do consumidor mas menos rotas serão servidas.

Fukui (2014) examina os efeitos de *slot trading* na concorrência ao nível das rotas em aeroportos no Reino Unido, usando os dados de voo OAG (empresa fornece informações precisas para as companhias aéreas, aeroportos, agências governamentais e empresas de serviços relacionados a viagens do mundo) de *slots* de 2008 a 2011. Os resultados das análises de regressão sugerem que: as negociações de *slots* entre as companhias aéreas parceiras encorajariam a concorrência a nível de rota; as transações de *slots* entre concorrentes rivais podem reduzir a rivalidade no nível da rota.

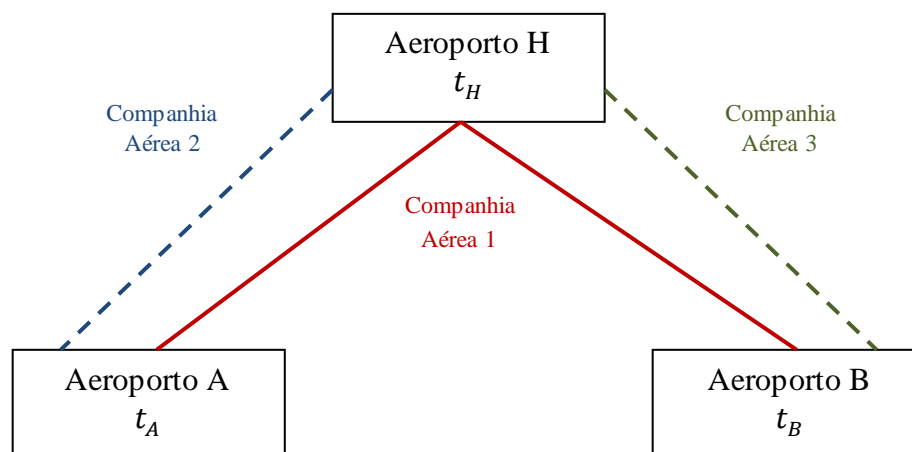
Alem disso, é interessante salientar que os resultados obtidos por Fukui (2014) também sugerem que as negociações de *slots* entre companhias aéreas rivais não levam à expansão de redes de rotas das companhias aéreas concorrentes. Na verdade, o que os resultados refletem é que se verifica que as companhias aéreas que obtiveram *slots* dos seus rivais, transferem os voos para as suas rotas já dominantes para evitar a concorrência direta.

Capítulo 2. Metodologia

Neste capítulo pretende-se investigar a existência de interesse por parte das companhias aéreas em recorrerem ao mercado secundário de *slots* aeroportuários. Para isso será apresentado um primeiro modelo base, onde três companhias aéreas sem quaisquer restrições de capacidade se envolvem numa competição do tipo Cournot. No segundo modelo existe restrição de capacidade em uma das companhias aéreas que está interessada em recorrer ao mercado secundário de *slots*, sendo por último, apresentados dois exemplos de casos onde as companhias aéreas trocam *slots*.

Consideramos uma rede simples *hub-and-spoke*. A rede liga três aeroportos: A, H, B. Os aeroportos A e B são aeroportos locais e o aeroporto H é um *hub*. Assumimos que existem três mercados constituídos pelos seguintes passageiros: i) passageiros que pretendem viajar de A para H, ii) passageiros que pretendem viajar de H para B, e iii) passageiros que pretendem viajar de A para B. Os três mercados e as companhias aéreas que asseguram os diferentes serviços de transporte estão representados na figura seguinte:

Figura 1 – Rede *hub-and-spoke*



Assumimos que existem três companhias aéreas (designadas por 1, 2 e 3). A Companhia Aérea 1 opera voos diretos entre as cidades AH e HB. Assim, a Companhia

Aérea 1 fornece os mercados AH e HB, com voos *non-stop* (voos diretos), sendo o número de passageiros transportados pela Companhia Aérea 1 nestes mercados designado de q_{AH}^1 e q_{HB}^1 , respetivamente. A Companhia Aérea 1 fornece ainda o mercado AB com voos *one-stop* (voos com escala no aeroporto H) transportando um número de passageiros designado por q_{AB}^1 .

A Companhia Aérea 2 opera voos diretos no mercado AH em quantidade q_{AH}^2 . Para além disso transporta ainda q_{AB}^2 passageiros no mercado AB. Assume-se que a Companhia Aérea 2 transporta q_{AB}^2 passageiros de A até H nas suas aeronaves. No aeroporto H os passageiros têm de fazer transbordo e são transportados de H para B pela Companhia Aérea 1, através de um acordo de *codesharing* entre as Companhias Aéreas 1 e 2. Assume-se que a Companhia 2 paga à Companhia 1 este serviço ao preço de mercado dos bilhetes HB.

A Companhia Aérea 3 opera voos diretos no mercado HB em quantidade q_{HB}^3 . No mercado AB transporta q_{AB}^3 passageiros, embora estes passageiros só viagem em aeronaves da Companhia Aérea 3 entre H e B. Para o percurso A a H os passageiros viajam em aeronaves da Companhia Aérea 1. A Companhia Aérea 3 paga à Companhia 1 por este serviço o preço de mercado.

Deste modo, um passageiro que pretenda deslocar-se da cidade A para a B, pode fazê-lo da seguinte forma:

- Viajar sempre com a Companhia Aérea 1 (existem q_{AB}^1 passageiros deste tipo).
- Viajar com a Companhia Aérea 3, embora o percurso AH seja feito com a Companhia Aérea 1 e o percurso HB com a Companhia Aérea 3 (existem q_{AB}^3 passageiros deste tipo).
- Viajar com a Companhia Aérea 2 fazendo o percurso AH com a Companhia Aérea 2 e o percurso HB com a Companhia Aérea 1 (existem q_{AB}^2 passageiros deste tipo).

No modelo são ainda consideradas as seguintes *assumpções*:

1. Cada passageiro entende os serviços das companhias aéreas como perfeitos substitutos;
2. As companhias aéreas envolvem-se numa competição do tipo Cournot;

3. Apenas se consideram voos num sentido A – H – B, porque se assume que os voos no sentido inverso têm idênticas características;
4. Não existem acordos de *codesharing* entre a Companhia Aérea 2 e a Companhia Aérea 3;
5. Existem dois mercados com serviço *non-stop* (AH e HB) e um mercado com serviço *one-stop* (AB);
6. As funções procura nos três mercados são lineares expressas por $p_x = a_x - bq_x$, com $x = AH, HB, AB$. Para simplificar a análise, assume-se que $b = 1$.

2.1. Modelo Base

2.1.1. Funções Procura e Funções Lucro

No mercado AH efetuam-se voos diretos pela Companhia Aérea 1 (q_{AH}^1) e pela Companhia Aérea 2 (q_{AH}^2). Então, o número total de passageiros transportado na rota AH é dado por: $Q_{AH} = q_{AH}^1 + q_{AH}^2$.

No mercado HB efetuam-se voos diretos pela Companhia Aérea 1 (q_{HB}^1) e pela Companhia Aérea 3 (q_{HB}^3). Então, o número total de passageiros transportado na rota HB é dado por: $Q_{HB} = q_{HB}^1 + q_{HB}^3$.

No mercado AB efetuam-se voos com escala pela Companhia Aérea 1 (q_{AB}^1), pela Companhia Aérea 2 com transbordo para a Companhia 1 no percurso HB (q_{AB}^2) e pela Companhia Aérea 3 viajando estes passageiros com a Companhia Aérea 1 no percurso AH e com a Companhia Aérea 3 no percurso HB (q_{AB}^3). Então, o número total de passageiros transportado na rota AB é dado por: $Q_{AB} = q_{AB}^1 + q_{AB}^2 + q_{AB}^3$.

As funções inversas da procura em cada mercado são dadas pelas seguintes expressões:

$$P_{AB} = a_{AB} - q_{AB}^1 - q_{AB}^2 - q_{AB}^3$$

$$P_{AH} = a_{AH} - q_{AH}^1 - q_{AH}^2$$

$$P_{HB} = a_{HB} - q_{HB}^1 - q_{HB}^3$$

A dimensão do mercado com escala (*one-stop*) é representado por $a_{AB} > 0$. O tamanho do mercado de voos (*non-stop*) diretos AH é representado por $a_{AH} > 0$, o tamanho do mercado HB de voos diretos é representado por $a_{HB} > 0$.

Assumimos que os únicos custos operacionais enfrentados pelas companhias aéreas são os custos aeronáuticos pagos aos aeroportos. Supomos ainda que cada aeroporto cobra uma tarifa t por voo (t_A, t_H, t_B) às companhias aéreas. Para os voos AH são cobradas as tarifas t_A e t_H . Para os voos HB são cobradas as tarifas t_H e t_B . Para os voos AB são cobradas as tarifas t_A , t_H e t_B . Note-se que nos voos AB, a Companhia Aérea 1 suporta apenas uma tarifa t_H enquanto as Companhias Aéreas 2 e 3 suportam a tarifa t_H duas vezes. Assume-se que $t_A = t_B$, sendo C_1 e C_2 , dados por:

$$\begin{aligned} C_1 &= t_A + t_H + t_B \\ C_2 &= t_A + t_H = t_H + t_B \end{aligned}$$

Então, as funções de lucro de cada companhia aérea podem ser escritas como:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= [P_{AB} - C_1]q_{AB}^1 + [P_{AH} - C_2]q_{AH}^1 + [P_{HB} - C_2]q_{HB}^1 + [P_{HB} - C_2]q_{AB}^2 + \\ &[P_{AH} - C_2]q_{AB}^3 \\ \pi_2 &= [P_{AH} - C_2]q_{AH}^2 + [P_{AB} - P_{HB} - C_2]q_{AB}^2 \\ \pi_3 &= [P_{HB} - C_2]q_{HB}^3 + [P_{AB} - P_{AH} - C_2]q_{AB}^3 \end{aligned}$$

Assume-se $C_1 < a_i$ e $C_2 < a_i$ com $i = AB, AH, HB$ de modo a que no equilíbrio existem três empresas no mercado AB, duas no mercado AH e duas no mercado BH.

A Companhia Aérea 1 opera no mercado AH (recebe P_{AH} e tem custo de C_2 , por cada passageiro q_{AH}^1 que transporta), no mercado HB (recebe P_{HB} e tem custo de C_2 , por cada passageiro q_{HB}^1 que transporta) e no mercado AB (recebe P_{AB} e tem custo de C_1 , por cada passageiro q_{AB}^1 que transporta). A Companhia Aérea 1 tem um acordo de *codesharing* com a Companhia Aérea 2 (a Companhia Aérea 1 recebe P_{HB} e tem custo de C_2 , por cada passageiro q_{AB}^2). A Companhia Aérea 1 também tem um acordo de *codesharing* com a Companhia Aérea 3, (a Companhia Aérea 1 recebe P_{AH} e tem custo de C_2 , por cada passageiro q_{AB}^3).

A Companhia Aérea 2 opera no mercado AH (recebe P_{AH} e tem custo de C_2 , por cada passageiro q_{AH}^2 que transporta). No mercado AB, por cada passageiro q_{AB}^2 que transporta, recebe P_{AB} e tem custos de C_2 . Devido ao acordo de *codesharing* com a Companhia Aérea 1 no mercado AB também tem custo de P_{HB} .

A Companhia Aérea 3 opera no mercado HB (recebe P_{HB} e tem custo de C_2 , por cada passageiro q_{HB}^3 que transporta). No mercado AB, por cada passageiro q_{AB}^3 que transporta, recebe P_{AB} e tem custos de C_2 . Devido ao acordo de *codesharing* com a Companhia Aérea 1 também tem custo de P_{AH} .

As variáveis de decisão das empresas são as quantidades:

- A Companhia Aérea 1 decide: $q_{AB}^1, q_{AH}^1, q_{HB}^1$.
- A Companhia Aérea 2 decide: q_{AB}^2, q_{AH}^2 .
- A Companhia Aérea 3 decide: q_{AB}^3, q_{HB}^3 .

Mercado AB:

Neste mercado operam três companhias aéreas.

Relembrando os lucros das companhias expressas anteriormente fazendo as devidas substituições com as funções inversas da procura, teremos as expressões lucros:

$$\begin{aligned}\pi_1 &= [(a_{AB} - q_{AB}^1 - q_{AB}^2 - q_{AB}^3) - C_1]q_{AB}^1 + [(a_{AH} - q_{AH}^1 - q_{AH}^2) - C_2]q_{AH}^1 + \\ &+ [(a_{HB} - q_{HB}^1 - q_{HB}^3) - C_2]q_{HB}^1 + [(a_{HB} - q_{HB}^1 - q_{HB}^3) - C_2]q_{AB}^2 + [(a_{AH} - q_{AH}^1 - \\ & q_{AH}^2) - C_2]q_{AB}^3 \\ \pi_2 &= [(a_{AH} - q_{AH}^1 - q_{AH}^2) - C_2]q_{AH}^2 + [(a_{AB} - q_{AB}^1 - q_{AB}^2 - q_{AB}^3) - (a_{HB} - \\ & q_{HB}^1 - q_{HB}^3) - C_2]q_{AB}^2 \\ \pi_3 &= [(a_{HB} - q_{HB}^1 - q_{HB}^3) - C_2]q_{HB}^3 + [(a_{AB} - q_{AB}^1 - q_{AB}^2 - q_{AB}^3) - (a_{AH} - \\ & q_{AH}^1 - q_{AH}^2) - C_2]q_{AB}^3\end{aligned}$$

Da condição de primeira ordem do problema de maximização do lucro de cada Companhia Aérea obtém-se:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi_1(q_{AB}^1)}{\partial q_{AB}^1} &= a_{AB} - 2q_{AB}^1 - q_{AB}^2 - q_{AB}^3 - C_1 = 0 \\ \frac{\partial \pi_2(q_{AB}^2)}{\partial q_{AB}^2} &= a_{AB} - q_{AB}^1 - 2q_{AB}^2 - q_{AB}^3 + q_{HB}^3 + q_{HB}^1 - a_{HB} - C_2 = 0 \\ \frac{\partial \pi_3(q_{AB}^3)}{\partial q_{AB}^3} &= a_{AB} - q_{AB}^1 - q_{AB}^2 - 2q_{AB}^3 + q_{AH}^1 + q_{AH}^2 - a_{AH} - C_2 = 0\end{aligned}$$

As funções de melhor resposta das Companhias Aéreas 1, 2 e 3 no mercado AB são, respetivamente:

$$q^*_{AB}{}^1(q^2_{AB}, q^3_{AB}) = \frac{1}{2}(a_{AB} - q^2_{AB} - q^3_{AB} - C_1)$$

$$q^*_{AB}{}^2(q^1_{AB}, q^3_{AB}) = \frac{1}{2}(a_{AB} - q^1_{AB} - q^3_{AB} + q^3_{HB} + q^1_{HB} - a_{HB} - C_2)$$

$$q^*_{AB}{}^3(q^1_{AB}, q^2_{AB}) = \frac{1}{2}(a_{AB} - q^1_{AB} - q^2_{AB} + q^1_{AH} + q^2_{AH} - a_{AH} - C_2)$$

Onde $q^*_{AB}{}^1(q^2_{AB}, q^3_{AB})$ é a função de melhor resposta da Companhia Aérea 1, $q^*_{AB}{}^2(q^1_{AB}, q^3_{AB})$ é a função de melhor resposta da Companhia Aérea 2 e $q^*_{AB}{}^3(q^1_{AB}, q^2_{AB})$ é a função de melhor resposta da Companhia Aérea 3. As funções de melhor resposta das Companhias Aéreas representam as melhores escolhas em termos de output que cada companhia aérea deve fazer em função dos outputs das adversárias.

As condições de 2º ordem estão verificadas.

Mercado AH:

Neste mercado operam duas Companhias Aéreas, 1 e a 2, o que caracteriza uma situação de duopólio.

Da condição de primeira ordem do problema de maximização do lucro de cada Companhia Aérea, obtém-se:

$$\frac{\partial \pi_1(q^1_{AH})}{\partial q^1_{AH}} = a_{AH} - 2q^1_{AH} - q^2_{AH} - q^3_{AB} - C_2 = 0$$

$$\frac{\partial \pi_2(q^2_{AH})}{\partial q^2_{AH}} = a_{AH} - 2q^2_{AH} - q^1_{AH} - C_2 = 0$$

As funções de melhor resposta das Companhias Aéreas 1 e 2 no mercado AH são, respetivamente:

$$q^*_{AH}{}^1(q^2_{AH}) = \frac{1}{2}(a_{AH} - q^2_{AH} - q^3_{AB} - C_2)$$

$$q^*_{AH}{}^2(q^1_{AH}) = \frac{1}{2}(a_{AH} - q^1_{AH} - C_2)$$

Mercado HB:

Neste mercado operam duas Companhias Aéreas, 1 e a 3, o que caracteriza uma situação de duopólio.

Da condição de primeira ordem do problema de maximização do lucro de cada Companhia Aérea, obtém-se:

$$\frac{\partial \pi_1(q_{HB}^1)}{\partial q_{HB}^1} = a_{HB} - q_{HB}^3 - 2q_{HB}^1 - q_{AB}^2 - C_2 = 0$$

$$\frac{\partial \pi_3(q_{HB}^3)}{\partial q_{HB}^3} = a_{HB} - q_{HB}^1 - 2q_{HB}^3 - C_2 = 0$$

As funções de melhor resposta das Companhias Aéreas são:

$$q_{HB}^{*1}(q_{HB}^3) = \frac{1}{2}(a_{HB} - q_{HB}^3 - q_{AB}^2 - C_2)$$

$$q_{HB}^{*3}(q_{HB}^1) = \frac{1}{2}(a_{HB} - q_{HB}^1 - C_2)$$

2.1.2. Equilíbrio de Nash

Para se encontrar o equilíbrio de Nash pode-se determinar para cada companhia aérea uma função de melhor resposta à estratégia das outras companhias aéreas, obtendo então um sistema de 7 equações. Se esse sistema possuir solução, poderemos encontrar os perfis de estratégia que são o equilíbrio de Nash.

De forma a que o equilíbrio de Nash seja encontrado, devemos resolver o seguinte sistema com as funções de melhor resposta:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{AB}^1 = \frac{1}{2}(a_{AB} - q_{AB}^2 - q_{AB}^3 - C_1) \\ q_{AB}^2 = \frac{1}{2}(a_{AB} - q_{AB}^1 - q_{AB}^3 + q_{HB}^3 + q_{HB}^1 - a_{HB} - C_2) \\ q_{AB}^3 = \frac{1}{2}(a_{AB} - q_{AB}^1 - q_{AB}^2 + q_{AH}^1 + q_{AH}^2 - a_{AH} - C_2) \\ q_{AH}^1 = \frac{1}{2}(a_{AH} - q_{AH}^2 - q_{AB}^3 - C_2) \\ q_{AH}^2 = \frac{1}{2}(a_{AH} - q_{AH}^1 - C_2) \\ q_{HB}^1 = \frac{1}{2}(a_{HB} - q_{HB}^3 - q_{AB}^2 - C_2) \\ q_{HB}^3 = \frac{1}{2}(a_{HB} - q_{HB}^1 - C_2) \end{array} \right.$$

Resolvendo o sistema obtêm-se os seguintes resultados:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{AB}^1 = \frac{1}{14}(4a_{AB} + a_{AH} + a_{HB} - 10C_1 + 10C_2) \\ q_{AB}^2 = \frac{1}{56}(12a_{AB} + 3a_{AH} - 11a_{HB} + 12C_1 - 40C_2) \\ q_{AB}^3 = \frac{1}{56}(12a_{AB} - 11a_{AH} + 3a_{HB} + 12C_1 - 40C_2) \\ q_{AH}^1 = \frac{1}{28}(13a_{AH} - 4a_{AB} - a_{HB} - 4C_1 + 4C_2) \\ q_{AH}^2 = \frac{1}{56}(4a_{AB} + 15a_{AH} + a_{HB} + 4C_1 - 32C_2) \\ q_{HB}^1 = \frac{1}{28}(13a_{HB} - a_{AH} - 4a_{AB} - 4C_1 + 4C_2) \\ q_{HB}^3 = \frac{1}{56}(4a_{AB} + a_{AH} + 15a_{HB} + 4C_1 - 32C_2) \end{array} \right.$$

2.1.3. Exemplo Numérico

Para uma melhor análise e compreensão dos resultados obtidos anteriormente, é importante utilizar um exemplo numérico. O exemplo servirá de referência para futura comparação de resultados entre diferentes modelos. Para isso calcula-se os resultados obtidos anteriormente, quando $a_{AB} = 100$, $a_{AH} = 50$, $a_{HB} = 50$, $C_1 = 5$ e $C_2 = 3$.

Considera-se que o mercado AB é maior que os mercados AH e HB, admitindo-se então $a_{AB} = 100$. Os mercados AH e HB são menores, então considera-se $a_{AH} = 50$, $a_{HB} = 50$. Relativamente aos custos, considera-se que $C_1 = 5$ e $C_2=3$. Lembrando que $C_2 = t_A + t_H = t_H + t_B$ e $C_1 = t_A + t_H + t_B$, considera-se que, como os aeroportos A e B são aeroportos locais, são menos eficientes e cobram mais que o *hub*, então $t_A = t_B = 2$ e o aeroporto H cobra $t_H = 1$, pois sendo um aeroporto *hub* é mais eficiente (supõem-se que aproveita economias de escala) que lhe permite cobrar uma taxa aeroportuária menor.

Assim, para o exemplo numérico, em equilíbrio de Nash, obtêm-se os seguintes resultados:

Tabela 1 – Resultados obtidos do modelo base (exemplo numérico).

<u>Preços:</u>
$P_{AB} = 39,286$
$P_{AH} = 23,071$
$P_{HB} = 23,071$
<u>Lucros:</u>
$\pi_1 = 1981,2$
$\pi_2 = 577,48$
$\pi_3 = 577,48$
<u>Quantidades:</u>
$q_{AB}^1 = 34,286 \approx 34$
$q_{AB}^2 = 13,214 \approx 13$
$q_{AB}^3 = 13,214 \approx 13$
$q_{AH}^1 = 6,8571 \approx 7$
$q_{AH}^2 = 20,071 \approx 20$
$q_{HB}^1 = 6,8571 \approx 7$
$q_{HB}^3 = 20,071 \approx 20$

Como esperado, a Companhia Aérea 1 apresenta lucros superiores às Companhias Aéreas 2 e 3 uma vez que opera nos três mercados (AB, AH e HB) e tem acordos de

codesharing no mercado AB com as Companhias 2 e 3. As Companhias Aéreas 2 e 3 têm o mesmo lucro. Relativamente aos preços, tal como seria de esperar, o preço do mercado AB é superior ao dos mercados AH e HB. É de se salientar que para o cliente é preferível comprar um bilhete AB a qualquer uma das Companhias Aéreas, do que comprar dois bilhetes separadamente (AH e HB).

2.2. Modelo com Restrição de Capacidade da Companhia Aérea 1

Nesta secção é apresentado um modelo com restrição de capacidade da Companhia Aérea 1, e sem ocorrência de troca de *slots* aeroportuários. A Companhia Aérea 1 opera nos três mercados (AB, AH, HB) e tem acordos de *codesharing* com as Companhias Aéreas 2 e 3 (no mercado AB). No entanto, neste modelo, supomos que a Companhia Aérea 1 não possui capacidade suficiente para transportar todos os seus passageiros na rota AH e na rota HB. A Companhia Aérea 1 irá maximizar o seu lucro com duas restrições (em AH e HB) e as Companhias Aéreas 2 e 3 maximizam os seus lucros sem restrição. Será apresentado um exemplo numérico que permite uma melhor compreensão dos resultados e comparação com o modelo anterior (sem restrição de capacidade da Companhia Aérea 1).

A Companhia Aérea 1 transporta 5 tipos de passageiros:

- q_{AB}^1 – Passageiros de conexão AB que voam sempre com a Companhia Aérea 1.
- q_{AH}^1 – Passageiros que voam AH.
- q_{HB}^1 – Passageiros que voam HB.
- q_{AB}^2 – Passageiros de conexão AB: voam AH com a Companhia Aérea 2 e fazem o transbordo para a Companhia Aérea 1 para viajar HB.
- q_{AB}^3 – Passageiros de conexão AB: voam AH com a Companhia Aérea 1 e fazem o transbordo para a Companhia Aérea 3 para viajar HB.

A Companhia Aérea 2 transporta 2 tipos de passageiros:

- q_{AH}^2 – Passageiros que voam AH.
- q_{AB}^2 – Passageiros de conexão AB: voam AH com a Companhia Aérea 2 e fazem o transbordo para a Companhia Aérea 1 para viajar HB.

A Companhia Aérea 3 transporta 2 tipos de passageiros:

- q_{HB}^3 – Passageiros que voam HB.
- q_{AB}^3 – Passageiros de conexão AB: voam AH com a Companhia Aérea 1 e fazem o transbordo para a Companhia Aérea 3 para viajar HB.

Em AH circulam os passageiros:



Neste modelo assume-se que na rota AH, a Companhia Aérea 1 não possui capacidade suficiente para transportar todos os passageiros que gostaria, isto é, assume-se que

$$q_{AB}^1 + q_{AH}^1 + q_{AB}^3 > K$$

Em HB circulam os passageiros:



De forma análoga assume-se que na rota HB, a Companhia Aérea 1, não possui capacidade suficiente para transportar todos os passageiros que gostaria, isto é, assume-se que:

$$q_{AB}^1 + q_{HB}^1 + q_{AB}^2 > K$$

Onde K representa a capacidade que a Companhia Aérea 1 dispõem nas rotas.

Neste cenário, assumimos que a Companhia Aérea 1 enfrenta uma restrição de capacidade.

A capacidade usada pela Companhia Aérea 1 é a seguinte:

— Na rota AH:

$$q_{AB}^1 + q_{AH}^1 + q_{AB}^3 = \frac{1}{56} (20a_{AB} + 19a_{AH} + 5a_{HB} - 36C_1 + 8C_2)$$

— Na rota BH:

$$q_{AB}^1 + q_{HB}^1 + q_{AB}^2 = \frac{1}{56} (20a_{AB} + 5a_{AH} + 19a_{HB} - 36C_1 + 8C_2)$$

A capacidade usada pela Companhia Aérea 2 na rota AH é a seguinte:

$$q_{AH}^2 + q_{AB}^2 = \frac{1}{28} (8a_{AB} + 9a_{AH} - 5a_{HB} + 8C_1 - 36C_2)$$

A capacidade usada pela Companhia Aérea 3 na rota BH é a seguinte:

$$q_{HB}^3 + q_{AB}^3 = \frac{1}{28} (8a_{AB} - 5a_{AH} + 9a_{HB} + 8C_1 - 36C_2)$$

Com a restrição de capacidade da Companhia Aérea 1, consideramos que a Companhia Aérea 1 determina q_{AB}^1 , q_{AH}^1 e q_{HB}^1 para maximizar o seu lucro com as restrições $q_{AB}^1 + q_{AH}^1 + q_{AB}^3 \leq K$ e $q_{AB}^1 + q_{HB}^1 + q_{AB}^2 \leq K$.

A função de Lagrange do problema de maximização de lucro com duas restrições da Companhia Aérea 1 é a seguinte:

$$L = (P_{AB} - C_1)q_{AB}^1 + (P_{AH} - C_2)q_{AH}^1 + (P_{HB} - C_2)q_{HB}^1 + (P_{HB} - C_2)q_{AB}^2 + (P_{AH} - C_2)q_{AB}^3 - \lambda_1(q_{AB}^1 + q_{AH}^1 + q_{AB}^3 - K) - \lambda_2(q_{AB}^1 + q_{HB}^1 + q_{AB}^2 - K)$$

Uma vez que se assume que as Companhias Aéreas 2 e 3 não enfrentam restrições de capacidade, cada uma destas companhias aéreas determina as quantidades de forma a maximizar as funções lucro apresentadas no modelo anterior (modelo sem restrições de capacidade).

Das condições de primeira ordem dos problemas de maximização do lucro de cada Companhia Aérea obtêm-se:

$$\frac{\partial L}{\partial q_{AB}^1} = a_{AB} - 2q_{AB}^1 - q_{AB}^2 - q_{AB}^3 - C_1 - \lambda_1 - \lambda_2 = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_{AH}^1} = a_{AH} - 2q_{AH}^1 - q_{AH}^2 - q_{AB}^3 - C_2 - \lambda_1 = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_{HB}^1} = a_{HB} - q_{HB}^3 - 2q_{HB}^1 - q_{AB}^2 - C_2 - \lambda_2 = 0$$

$$\frac{\partial \pi_2}{\partial q_{AH}^2} = a_{AH} - 2q_{AH}^2 - q_{AH}^1 - C_2 = 0$$

$$\frac{\partial \pi_2}{\partial q_{AB}^2} = a_{AB} - q_{AB}^1 - 2q_{AB}^2 - q_{AB}^3 + q_{HB}^3 + q_{HB}^1 - a_{HB} - C_2 = 0$$

$$\frac{\partial \pi_3}{\partial q_{HB}^3} = a_{HB} - q_{HB}^1 - 2q_{HB}^3 - C_2 = 0$$

$$\frac{\partial \pi_3}{\partial q_{AB}^3} = a_{AB} - q_{AB}^1 - q_{AB}^2 - 2q_{AB}^3 + q_{AH}^1 + q_{AH}^2 - a_{AH} - C_2 = 0$$

2.2.1. Equilíbrio de Nash

De forma a que o equilíbrio de Nash seja encontrado, devemos resolver o seguinte sistema:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{AB} - 2q_{AB}^1 - q_{AB}^2 - q_{AB}^3 - C_1 - \lambda_1 - \lambda_2 = 0 \\ a_{AH} - 2q_{AH}^1 - q_{AH}^2 - q_{AB}^3 - C_2 - \lambda_1 = 0 \\ a_{HB} - q_{HB}^3 - 2q_{HB}^1 - q_{AB}^2 - C_2 - \lambda_2 = 0 \\ a_{AH} - 2q_{AH}^2 - q_{AH}^1 - C_2 = 0 \\ a_{AB} - q_{AB}^1 - 2q_{AB}^2 - q_{AB}^3 + q_{HB}^3 + q_{HB}^1 - a_{HB} - C_2 = 0 \\ a_{HB} - q_{HB}^1 - 2q_{HB}^3 - C_2 = 0 \\ a_{AB} - q_{AB}^1 - q_{AB}^2 - 2q_{AB}^3 + q_{AH}^1 + q_{AH}^2 - a_{AH} - C_2 = 0 \\ q_{AB}^1 + q_{AH}^1 + q_{AB}^3 - K = 0 \\ q_{AB}^1 + q_{HB}^1 + q_{AB}^2 - K = 0 \end{array} \right.$$

Resolvendo o sistema obtêm-se os seguintes resultados:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{AB}^1 = \frac{1}{26}(a_{AB} + 18K - 2a_{AH} - 2a_{HB} - 7C_1 + 16C_2) \\ q_{AB}^2 = \frac{1}{26}(7a_{AB} - 4K + 3C_1 - 18C_2) + \frac{1}{39}(5a_{AH} - 8a_{HB}) \\ q_{AB}^3 = \frac{1}{26}(7a_{AB} - 4K + 3C_1 - 18C_2) + \frac{1}{39}(5a_{HB} - 8a_{AH}) \\ q_{AH}^1 = \frac{1}{39}(18K - 12a_{AB} + 11a_{AH} - 2a_{HB} + 6C_1 + 3C_2) \\ q_{AH}^2 = \frac{1}{39}(6a_{AB} - 9K + 14a_{AH} + a_{HB} - 3C_1 - 21C_2) \\ q_{HB}^1 = \frac{1}{39}(18K - 12a_{AB} - 2a_{AH} + 11a_{HB} + 6C_1 + 3C_2) \\ q_{HB}^3 = \frac{1}{26}(6a_{AB} - 9K + a_{AH} + 14a_{HB} - 3C_1 - 21C_2) \\ \lambda_1 = \frac{1}{26}(5a_{AB} - 14K - 9C_1 + 2C_2) + \frac{1}{39}(11a_{AH} - 2a_{HB}) \\ \lambda_2 = \frac{1}{26}(5a_{AB} - 14K - 9C_1 + 2C_2) + \frac{1}{39}(11a_{HB} - 2a_{AH}) \end{array} \right.$$

2.2.2. Exemplo Numérico

Novamente recorre-se a um exemplo numérico para uma melhor análise, compreensão dos resultados obtidos e comparação com os resultados do modelo anterior

(sem restrição de capacidade da Companhia Aérea 1). Considerando os valores anteriormente utilizados para os parâmetros $a_{AB} = 100$, $a_{AH} = 50$, $a_{HB} = 50$, $C_1 = 5$ e $C_2=3$, temos:

$$q_{AB}^1 + q_{AH}^1 + q_{AB}^3 = 54,357$$

$$q_{AB}^1 + q_{HB}^1 + q_{AB}^2 = 54,357$$

Vamos considerar $K = 50$ e assim, para o exemplo numérico, em equilíbrio de Nash, obtêm-se os seguintes resultados:

Tabela 2 – Resultados obtidos do modelo com restrição de capacidade (exemplo numérico).

<u>Preços:</u>
$P_{AB} = 40,962$
$P_{AH} = 24,077$
$P_{HB} = 24,077$
<u>Lucros:</u>
$\pi_1 = 1914,1$
$\pi_2 = 637,02$
$\pi_3 = 637,02$
<u>Quantidades:</u>
$q_{AB}^1 = 31,269 \approx 31$
$q_{AB}^2 = 13,885 \approx 14$
$q_{AB}^3 = 13,885 \approx 14$
$q_{AH}^1 = 4,8462 \approx 5$
$q_{AH}^2 = 21,077 \approx 21$
$q_{HB}^1 = 4,8462 \approx 5$
$q_{HB}^3 = 21,077 \approx 21$

Neste modelo com restrição de capacidade da Companhia Aérea 1, esta ainda continua a apresentar lucros superiores às Companhias Aéreas 2 e 3, como seria esperado, pois continua a opera nos três mercado (AB, AH e HB) e tem acordos de *codesharing*

(mercado AB) com as Companhias Aéreas 2 e 3. As Companhias Aéreas 2 e 3 continuam a apresentarem lucros iguais. Relativamente aos preços, o preço do mercado AB continua sendo superior ao dos mercados AH e HB. Para o cliente também é preferível comprar um bilhete AB a qualquer uma das Companhias Aéreas (1, 2 e 3) do que comprar dois bilhetes separadamente (AH e HB), também a qualquer uma das Companhias Aéreas.

Para uma melhor análise, apresenta-se uma tabela para facilidade de observação e comparação dos resultados.

Tabela 3 – Modelo base vs Modelo com restrição de capacidade.

Sem Restrição	Com Restrição
<u>Preços:</u> $P_{AB} = 39,286$ $P_{AH} = 23,071$ $P_{HB} = 23,071$ <u>Lucros:</u> $\pi_1 = 1981,2$ $\pi_2 = 577,48$ $\pi_3 = 577,48$ <u>Quantidades:</u> $q_{AB}^1 = 34,286 \approx 34$ $q_{AB}^2 = 13,214 \approx 13$ $q_{AB}^3 = 13,214 \approx 13$ $q_{AH}^1 = 6,8571 \approx 7$ $q_{AH}^2 = 20,071 \approx 20$ $q_{HB}^1 = 6,8571 \approx 7$ $q_{HB}^3 = 20,071 \approx 20$ $Q_{AB} = 60,714$ $Q_{AH} = 26,928$ $Q_{HB} = 26,928$ $Q_T = 114,57$	<u>Preços:</u> $P_{AB} = 40,962$ $P_{AH} = 24,077$ $P_{HB} = 24,077$ <u>Lucros:</u> $\pi_1 = 1914,1$ $\pi_2 = 637,02$ $\pi_3 = 637,02$ <u>Quantidades:</u> $q_{AB}^1 = 31,269 \approx 31$ $q_{AB}^2 = 13,885 \approx 14$ $q_{AB}^3 = 13,885 \approx 14$ $q_{AH}^1 = 4,8462 \approx 5$ $q_{AH}^2 = 21,077 \approx 21$ $q_{HB}^1 = 4,8462 \approx 5$ $q_{HB}^3 = 21,077 \approx 21$ $Q_{AB} = 59,038$ $Q_{AH} = 25,923$ $Q_{HB} = 25,923$ $Q_T = 110,88$

$q_{AB}^1 + q_{AH}^1 + q_{AB}^3 = 54,357$	$q_{AB}^1 + q_{AH}^1 + q_{AB}^3 = 50$
$q_{AB}^1 + q_{HB}^1 + q_{AB}^2 = 54,357$	$q_{AB}^1 + q_{HB}^1 + q_{AB}^2 = 50$
$q_{AH}^2 + q_{AB}^2 = 33,286$	$q_{AH}^2 + q_{AB}^2 = 34,962$
$q_{HB}^3 + q_{AB}^3 = 33,286$	$q_{HB}^3 + q_{AB}^3 = 34,962$

Comparando os resultados da situação de restrição de capacidade da Companhia Aérea 1 com os resultados da situação sem restrição pode-se concluir o seguinte:

- a Companhia Aérea 1 reduz as quantidades de todos os seus voos (AB, AH, BH), enquanto as Companhias Aéreas 2 e 3 aumentam as quantidades de todos os seus voos (q_{AH}^2 e q_{AB}^2 para a Companhia Aérea 2; q_{HB}^3 e q_{AB}^3 para a Companhia Aérea 3).
- Nos três mercados o preço aumenta, o que implica redução de lucros para a Companhia Aérea 1 e aumento de lucros para as Companhias Aéreas 2 e 3.
- Com restrição de capacidade da Companhia Aérea 1, os lucros da Companhia Aérea 1 diminuem e os das Companhias Aéreas 2 e 3 aumentam. Os lucros da Companhia Aérea 1 diminuem porque a Companhia Aérea 1 reduz voos em todos os mercados: AB (q_{AB}^1) AH (q_{AH}^1) AB (q_{HB}^1). As Companhias Aéreas 2 e 3 aumentam as quantidades em todos os mercados.

Como o lucro da Companhia Aérea 1 diminui, esta Companhia Aérea tem incentivo em adquirir *slots* para se aproximar das quantidades que maximizam o lucro. As Companhias Aéreas 2 e 3 só estão dispostas a vender *slots* se conseguirem ter maiores lucros.

De forma a perceber se é possível aumentar o lucro global, calcula-se o lucro máximo possível neste mercado. O máximo lucro possível ocorre quando há decisão em conluio. Ou seja, quando as quantidades são decididas como se apenas operasse uma empresa em cada mercado. Assim definiu-se a função lucro da seguinte forma:

$$L = (P_{AB} - C_1)Q_{AB} + (P_{AH} - C_2)Q_{AH} + (P_{HB} - C_2)Q_{HB}$$

Para que o equilíbrio de Nash seja encontrado, devemos resolver o seguinte sistema:

$$\begin{cases} a_{AB} - 2Q_{AB} - C_1 = 0 \\ a_{AH} - 2Q_{AH} - C_2 = 0 \\ a_{HB} - 2Q_{HB} - C_2 = 0 \end{cases}$$

Resolvendo o sistema obtêm-se os seguintes resultados:

$$\begin{cases} Q_{AB} = \frac{1}{2}(a_{AB} - C_1) \\ Q_{AH} = \frac{1}{2}(a_{AH} - C_2) \\ Q_{HB} = \frac{1}{2}(a_{HB} - C_2) \end{cases}$$

Considerando os parâmetros anteriormente utilizados nos exemplos numéricos ($a_{AB} = 100$, $a_{AH} = 50$, $a_{HB} = 50$, $C_1 = 5$ e $C_2=3$), temos:

Tabela 4 – Lucro máximo (exemplo numérico).

<u>Preços:</u>
$P_{AB} = 52,5$
$P_{AH} = 26,5$
$P_{HB} = 26,5$
<u>Lucro:</u>
$\pi = 3360,8$
<u>Quantidades:</u>
$Q_{AB} = 47,5$
$Q_{AH} = 23,5$
$Q_{HB} = 23,5$
$Q_T = 94,5$

Estes resultados foram obtidos quando as quantidades são decididas como se apenas operasse uma companhia aérea em cada mercado. Como $\pi = 3360,8$, nesta situação percebe-se que é possível aumentar o lucro global se as companhias aéreas

cooperarem. Note-se que a soma dos lucros das três companhias no modelo com restrição de capacidade da Companhia Aérea 1 é de 3188,14, e sem restrição de capacidade é 3136,16. Logo, as Companhias Aéreas 2 e 3 poderão estar interessadas em vender *slots*, para utilização da Companhia Aérea 1, desde que obtenham um maior lucro do que com restrição de capacidade da Companhia Aérea 1 e sem troca de *slots*.

Como se observa pelos resultados, a Companhia Aérea 1 tem interesse em obter *slots* das Companhias Aéreas 2 e 3 pois a restrição de capacidade diminuiu o seu lucro. No entanto, a restrição aumentou os lucros das Companhias Aéreas 2 e 3. Para que ocorra troca de *slots* é necessário que essa troca seja vantajosa para as Companhias Aéreas 2 e 3, os seus lucros devem ser superiores aos resultados que seriam obtidos sem restrição e com a restrição de capacidade.

2.3. Troca de *Slots* com Restrição de Capacidade da Companhia Aérea 1

Nesta secção são apresentados exemplos de troca de *slots* aeroportuários. A Companhia Aérea 1 opera nos três mercados (AB, AH, HB) e tem acordos de *codesharing* com as Companhias Aéreas 2 e 3 (no mercado AB). No entanto, no modelo anterior, supomos que a Companhia Aérea 1 tem restrição de capacidade e isso diminui os seus lucros (comparando com uma situação onde não exista restrição de capacidade). Por esse motivo terá interesse em adquirir *slots* das Companhias Aéreas 2 e 3. As Companhias Aéreas 2 e 3 só estão interessadas em interagir num mercado secundário de *slots*, com a Companhia Aérea 1, no caso de ser benéfico para elas, isto é, se os seus lucros aumentarem. Para que seja perceptível que existem situações onde a troca beneficia também as Companhias Aéreas 2 e 3, são apresentados exemplos onde as companhias aéreas cooperam coordenando as quantidades de forma a que ocorra uma situação vantajosa para todas. Para isso são apresentados dois exemplos onde os lucros aumentam. Mais especificamente, é avaliado a situação de aquisição de *slots* num mercado e transferi-los para outros mercados.

2.3.1. Exemplo 1

Neste exemplo utilizaram-se os resultados obtidos no exemplo numérico do modelo anterior (com restrição de capacidade da Companhia Aérea 1). Assume-se que a Companhia Aérea 1 adquire quantidades do mercado AB e as transfere para os outros mercados onde opera (mercado AH e HB). Assume-se que a Companhia Aérea 1 adquire 1 *slot* da Companhia Aérea 2 (de q_{AB}^2) e outro *slot* da Companhia Aérea 3 (de q_{AB}^3) no mercado AB, e transfere essas suas quantidades para os mercados AH (aumenta em q_{AH}^1) e HB (aumenta em q_{HB}^1).

Para uma melhor análise e comparação dos resultados, apresenta-se uma tabela com os resultados obtidos com a transferência de quantidades e com os resultados obtidos anteriormente do modelo com restrição de capacidade e sem troca.

Tabela 5 – Exemplo 1.

Exemplo 1	Com Restrição
<u>Preços:</u> $P_{AB} = 42,962$ $P_{AH} = 23,077$ $P_{HB} = 23,077$ <u>Lucros:</u> $\pi_1 = 1939,1$ $\pi_2 = 640,71$ $\pi_3 = 640,71$ <u>Quantidades:</u> $q_{AB}^1 = 31,269 \approx 31$ $q_{AB}^2 = 13,885 - \mathbf{1} = 12,885 \approx 13$ $q_{AB}^3 = 13,885 - \mathbf{1} = 12,885 \approx 13$ $q_{AH}^1 = 4,8462 + \mathbf{1} = 5,8462 \approx 5$ $q_{AH}^2 = 21,077 \approx 21$ $q_{HB}^1 = 4,8462 + \mathbf{1} = 5,8462 \approx 6$ $q_{HB}^3 = 21,077 \approx 21$ $Q_{AB} = 57,038$ $Q_{AH} = 26,923$ $Q_{HB} = 26,923$ $Q_T = 110,88$	<u>Preços:</u> $P_{AB} = 40,962$ $P_{AH} = 24,077$ $P_{HB} = 24,077$ <u>Lucros:</u> $\pi_1 = 1914,1$ $\pi_2 = 637,02$ $\pi_3 = 637,02$ <u>Quantidades:</u> $q_{AB}^1 = 31,269 \approx 31$ $q_{AB}^2 = 13,885 \approx 14$ $q_{AB}^3 = 13,885 \approx 14$ $q_{AH}^1 = 4,8462 \approx 5$ $q_{AH}^2 = 21,077 \approx 21$ $q_{HB}^1 = 4,8462 \approx 5$ $q_{HB}^3 = 21,077 \approx 21$ $Q_{AB} = 59,038$ $Q_{AH} = 25,923$ $Q_{HB} = 25,923$ $Q_T = 110,88$

Analisando os resultados obtidos, torna-se perceptível que todas as companhias aéreas beneficiam com a troca, pois todas aumentam os seus lucros. A Companhia Aérea 1 aumenta os seus lucros comparativamente à sua situação quando enfrentava a restrição de capacidade e não existia troca de *slots* aeroportuários ($\pi_1 = 1939,1 > \pi_1 = 1914,1$), assim como as Companhias Aéreas 2 e 3 ($\pi_2 = \pi_3 = 640,71 > \pi_2 = \pi_3 = 637,02$). Relativamente às Companhias Aéreas 2 e 3, é ainda interessante referir que com esta troca de quantidades, as companhias aumentam os seus lucros quando comparados com a

situação onde não existe restrição de capacidade ($\pi_2 = \pi_3 = 640,71 > \pi_2 = \pi_3 = 577,48$).

No cálculo destes lucros não foi considerado um preço pago/recebido pela troca. Apenas o aumento/diminuição de quantidades nos respetivos mercados e o consequente aumento e diminuição dos preços praticados (P_{AB} aumentou, P_{AH} e P_{HB} diminuíram). Isto porque o objetivo era perceber se as companhias aéreas estariam interessadas em recorrer a um mercado secundário de forma benéfica para si mesmas (aumentarem os seus lucros). Assim sendo, os lucros foram calculados normalmente da seguinte forma:

$$\begin{aligned}\pi_1 &= [P_{AB} - C_1]q_{AB}^1 + [P_{AH} - C_2]q_{AH}^1 + [P_{HB} - C_2]q_{HB}^1 + [P_{HB} - C_2]q_{AB}^2 + \\ &[P_{AH} - C_2]q_{AB}^3 \\ \pi_2 &= [P_{AH} - C_2]q_{AH}^2 + [P_{AB} - P_{HB} - C_2]q_{AB}^2 \\ \pi_3 &= [P_{HB} - C_2]q_{HB}^3 + [P_{AB} - P_{AH} - C_2]q_{AB}^3\end{aligned}$$

Uma vez que no cálculo dos lucros não foi considerado um preço pago pela Companhia Aérea 1 e nem o valor recebido pelas Companhias Aéreas 2 e 3, torna-se pertinente perceber o valor disposto a pagar/receber pelas Companhias Aéreas.

Como $\pi_1 = 1939,1 > \pi_1 = 1914,1$, a Companhia Aérea 1 estará disposta a pagar, pelos dos *slots* que adquiriu das Companhias Aéreas 2 e 3, no máximo o valor de 25 ($1939,1 - 1914,1 = 25$).

Como $\pi_2 = \pi_3 = 640,71 > \pi_2 = \pi_3 = 637,02$, as Companhias Aéreas 2 e 3 estarão dispostas a vender, cada uma pelo *slot* que cedeu à Companhia Aérea 1, no mínimo, o valor de 3,69 ($640,71 - 637,02 = 3,69$).

2.3.2. Exemplo 2

Este exemplo, à semelhança do anterior, tem como referência os resultados obtidos no exemplo numérico do modelo com restrição de capacidade da Companhia Aérea 1. Neste exemplo também se assume que a Companhia Aérea 1 adquire quantidades do mercado AB e as transfere para os outros mercados onde opera (mercado AH e HB). No entanto, no exemplo 1 a Companhia Aérea 1 adquiria o *slot* aeroportuário das Companhias Aéreas 2 e 3 e utilizava-os. Aqui considera-se que a Companhia Aérea 1 adquire um conjunto de *slots* das Companhias Aéreas 2 e 3 e não os utiliza na sua

totalidade. Pretende-se analisar uma situação onde a companhia aérea que adquire os *slots* não os utiliza na sua totalidade, e que impacto no lucro terá não apenas si mesma, mas também nos lucros das suas companhias aéreas rivais que cederam os *slots*. Assume-se então que a Companhia Aérea 1 adquire 3 *slots* da Companhia Aérea 2 (de q_{AB}^2) e outros 3 *slots* da Companhia Aérea 3 (de q_{AB}^3) no mercado AB, e transfere apenas 1 de cada 3 das suas recente adquiridas quantidades para os mercados AH (aumenta 1 em q_{AH}^1) e HB (aumenta 1 em q_{HB}^1).

Também à semelhança do exemplo anterior, apresenta-se uma tabela com os resultados obtidos com a transferência de quantidades e com os resultados obtidos anteriormente do modelo com restrição de capacidade e sem troca.

Tabela 6 – Exemplo 2.

Exemplo 2	Com Restrição
<u>Preços:</u> $P_{AB} = 46,962$ $P_{AH} = 23,077$ $P_{HB} = 23,077$ <u>Lucros:</u> $\pi_1 = 1983,9$ $\pi_2 = 650,48$ $\pi_3 = 650,48$ <u>Quantidades:</u> $q_{AB}^1 = 31,269 \approx 31$ $q_{AB}^2 = 13,885 - \mathbf{3} = 10,885 \approx 11$ $q_{AB}^3 = 13,885 - \mathbf{3} = 10,885 \approx 11$ $q_{AH}^1 = 4,8462 + \mathbf{1} = 5,8462 \approx 6$ $q_{AH}^2 = 21,077 \approx 21$ $q_{HB}^1 = 4,8462 + \mathbf{1} = 5,8462 \approx 6$ $q_{HB}^3 = 21,077 \approx 21$ $Q_{AB} = 53,038$	<u>Preços:</u> $P_{AB} = 40,962$ $P_{AH} = 24,077$ $P_{HB} = 24,077$ <u>Lucros:</u> $\pi_1 = 1914,1$ $\pi_2 = 637,02$ $\pi_3 = 637,02$ <u>Quantidades:</u> $q_{AB}^1 = 31,269 \approx 31$ $q_{AB}^2 = 13,885 \approx 14$ $q_{AB}^3 = 13,885 \approx 14$ $q_{AH}^1 = 4,8462 \approx 5$ $q_{AH}^2 = 21,077 \approx 21$ $q_{HB}^1 = 4,8462 \approx 5$ $q_{HB}^3 = 21,077 \approx 21$ $Q_{AB} = 59,038$

$Q_{AH} = 26,923$	$Q_{AH} = 25,923$
$Q_{HB} = 26,923$	$Q_{HB} = 25,923$
$Q_T = 106,88$	$Q_T = 110,88$

Analisando os resultados obtidos, tal como no exemplo 1, é perceptível que todas as companhias aéreas beneficiam com a troca, pois todas aumentam os seus lucros. A Companhia Aérea 1 aumenta os seus lucros comparativamente à sua situação quando enfrentava a restrição de capacidade e não existia troca de *slots* aeroportuários ($\pi_1 = 1983,9 > \pi_1 = 1914,1$), assim como as Companhias Aéreas 2 e 3 ($\pi_2 = \pi_3 = 650,48 > \pi_2 = \pi_3 = 637,02$). Torna-se interessante referir ainda que, neste cenário estes resultados obtidos são ainda superiores aos resultados do primeiro modelo, onde não existia restrição de capacidade ($\pi_2 = \pi_3 = 640,71 > \pi_2 = \pi_3 = 577,48$ e $\pi_1 = 1983,9 > \pi_1 = 1981,2$).

Relativamente aos cálculos destes lucros, tal como no exemplo 1, não foi considerado um preço pago/recebido pela troca. Apenas o aumento/diminuição de quantidades nos respetivos mercados e o consequente aumento e diminuição dos preços praticados. Ou seja, os lucros foram calculados normalmente, da seguinte forma:

$$\begin{aligned}\pi_1 &= [P_{AB} - C_1]q_{AB}^1 + [P_{AH} - C_2]q_{AH}^1 + [P_{HB} - C_2]q_{HB}^1 + [P_{HB} - C_2]q_{AB}^2 + \\ &[P_{AH} - C_2]q_{AB}^3 \\ \pi_2 &= [P_{AH} - C_2]q_{AH}^2 + [P_{AB} - P_{HB} - C_2]q_{AB}^2 \\ \pi_3 &= [P_{HB} - C_2]q_{HB}^3 + [P_{AB} - P_{AH} - C_2]q_{AB}^3\end{aligned}$$

Neste exemplo, a Companhia Aérea 1, pela totalidade dos 6 *slots* que adquiriu, está disposta a pagar no máximo 69,8. As Companhias Aéreas 2 e 3, estarão dispostas a ceder 3 *slots* cada uma delas, se receberem o valor de 13,46. Isto porque como $\pi_1 = 1983,9 > \pi_1 = 1914,1$, a Companhia Aérea 1 estará disposta a pagar $1983,9 - 1914,1 = 69,8$ e as Companhias Aéreas 2 e 3, estarão dispostas a vender, no mínimo por $650,48 - 637,02 = 13,46$ pois $\pi_2 = \pi_3 = 650,48 > \pi_2 = \pi_3 = 637,02$.

Após observar os resultados dos dois exemplos apresentados, do ponto de vista dos lucros, a situação mais vantajosa para todas as companhias aéreas intervenientes é a apresentada no exemplo 2 pois apresenta os lucros mais elevados. Com os dois exemplos

apresentados, torna-se perceptível que existem situações onde as Companhias Aéreas (2 e 3), que não tem restrição de capacidade, também beneficiam com uma cooperação de quantidades, num mercado secundário de *slots* aeroportuários, de forma a que ocorra uma situação vantajosa para todas as intervenientes.

Conclusão

Nos EUA, até 1985, a atribuição dos *slots* aeroportuários era feita numa base de *first-come* e em 1985 foram introduzidas novas regras pela FAA (Federal Aviation Authority), passando assim os *slots* a serem atribuídos às companhias aéreas com base na precedência histórica e sendo o comércio secundário de *slots* permitido (Condorelli, 2007). Na Europa, a atribuição dos *slots* encontra-se regulamentada desde 1993, sendo os *slots* atribuídos pelo coordenador de acordo com princípios de precedência histórica, os *grandfather rights*, e a regra de *use-it-or-lose-it* (Condorelli, 2007).

Atualmente na Europa, nos aeroportos congestionados, utilizam-se mecanismos de atribuição de *slots* aeroportuários (European Commission, 2011a), contudo alguns estudos, como NERA (2004) e DotEcon (2001), concluem que o atual sistema de atribuição prejudica a concorrência e gera situações de ineficiência sendo assim importante explorar alternativas a este sistema de atribuição de *slots*. Existem abordagens alternativas como o leilão (podendo os leilões ser de diferentes tipos como, por exemplo, o leilão de Vickrey, leilão *clockproxy* e o leilão *first-price package*), regulamento administrativo, preços de congestionamento e o *secondary trading* (Kociubiński, 2014).

A Comissão Europeia está a ponderar a possibilidade de se recorrer ao mercado secundário de *slots* aeroportuários (nos aeroportos London Heathrow e London Gatwick já existe em funcionamento um mercado secundário de *slots* (DotEcon, 2006)), tendo como proposta a alteração do Regulamento (CEE) n° 95/93 do Conselho relativamente às normas comuns aplicáveis à atribuição de *slots* nos aeroportos (European Commission, 2011a). De acordo com a análise efetuada, as mudanças propostas, até 2015 podem trazer benefícios significativos, destacando-se a criação de emprego (62 mil postos de trabalho), um aumento anual médio de 1,6% do número de passageiros e benefícios para a economia europeia de 5,300 mil milhões de euros (European Commission, 2011b).

Na presente dissertação foi desenvolvido um modelo teórico que assume uma rede simples *hub-and-spoke* que liga três aeroportos, onde as companhias aéreas envolvem-se numa competição do tipo Cournot. Tendo como objetivos perceber se existe interesse para as companhias aéreas recorrerem a um mercado secundário de *slots* aeroportuários, assim como quais são os impactos no lucro das companhias aéreas quando são adquiridos *slots* aeroportuários no mercado secundário.

Foram avaliadas situações onde uma companhia aérea, com restrição de capacidade, adquire quantidades/*slots* aeroportuários das suas rivais num mercado e posteriormente transfere-os para outros mercados. A conclusão obtida é que existem situações lucrativas e assim existe interesse das companhias aéreas para recorrerem a um mercado secundário de *slots* aeroportuários. Na situação onde foi avaliado a aquisição de um *slot* aeroportuário, por uma companhia aérea com restrição de capacidade, num mercado e transferi-lo para outros mercados os lucros de todas as intervenientes aumentaram. Na situação onde uma companhia aérea, com restrição de capacidade, adquire um conjunto de *slots* num mercado e não os utiliza ou transfere para outros mercados na sua totalidade, também se verificou um aumento dos lucros de todas as companhias aéreas intervenientes.

Referências bibliográficas

Basso, L. J. e Zhang, A. (2010), “Pricing vs. slot policies when airport profits matter”. *Transportation Research Part B*, Vol. 44, N° 3, pp. 381–391.

Bauer, J. (2008), “Do Airlines use Slots Efficiently?”, in Czerny, A. I., Forsyth P., Gillen, D. e Niemeier, H-M. (editores) (2008), *Airport Slots: International Experiences and Options for Reform*, 9, Hampshire England, Ashgate Publishing Limited, pp. 151–171.

Brueckner, J. K. (2009), “Price vs. quantity-based approaches to airport congestion management”, *Journal of Public Economics*, Vol. 93, pp. 681–690.

Butcher, L. (2012), “Aviation: airport slots”. SN488 Business and Transport. House of Commons Library. Disponível em: <http://researchbriefings.parliament.uk/ResearchBriefing/Summary/SN00488#fullreport>.
Acedido em 14/11/2016.

Castelli L., Pellegrini P. e Pesenti R. (2011), “Airport slot allocation in Europe: economic efficiency and fairness”, *International Journal of Revenue Management*, Vol. 6, N° 1-2, pp. 28–44.

Condorelli, D. (2007), “Efficient and equitable airport slot allocation”, *Rivista di Politica Economica*, Vol. 97, N° 1-2, pp. 81–104.

Czerny, A. I. (2010), “Airport congestion management under uncertainty”, *Transportation Research Part B*, Vol. 44, N° 3, pp. 371–380.

De Wit, J. e Burghouwt, G. (2008), “Slot allocation and use at hub airports, perspectives for secondary trading”, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, Vol. 8, N° 2, pp. 147–164.

DotEcon (2001), *Auctioning Airport Slots, report for the HM Treasury and the Department of the Environment, Transport and Regions*. London. Disponível em: <https://www.dotecon.com/assets/images/slotauctr.pdf>. Acedido em 15/12/2016.

DotEcon (2006), *Alternative allocation mechanisms for slots created by new airport capacity*. London. Disponível em: <http://www.slottrade.aero/library/DotEcon%20Alternative%20Slot%20Allocation%20Mechanisms%202006.pdf>. Acedido em 05/10/2016.

European Commission (2011a), *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Common Rules for the Allocation of Slots at European Union Airports*. Brussels. European Council. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011PC0827&from=EN>. Acedido em 25/10/2016.

European Commission (2011b), *Impact Assessment of Revisions to Regulation 95/93, Final Report*. Brussels. European Council. Disponível em: <http://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/studies/doc/airports/2011-03-impact-assessment-revisions-regulation-95-93.pdf>. Acedido em 25/10/2016.

European Commission (2011c), *Summary of the Impact Assessment*. Brussels. European Council. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011SC1444&from=EN>. Acedido em 05/12/2016.

Fukui, H. (2014), “Effect of slot trading on route-level competition: Evidence from experience in the UK”, *Transportation Research Part A*, Vol. 69, pp. 124-141.

Gruyer, N. e Lenoir N. (2003), *Auctioning airport slots (?)*, Air Transport Research Society World Conference. Toulouse, France.

IATA - International Air Transport Association (2014), *New IATA Passenger Forecast Reveals Fast-Growing Markets of the Future*. Disponível em: <http://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2014-10-16-01.aspx>. Acedido em 09/10/2016.

IATA - International Air Transport Association (2017a), *Worldwide Slot Guidelines*. Canada. Disponível em: <http://www.iata.org/policy/infrastructure/slots/Documents/wsg-8-english.pdf>. Acedido em 12/01/2017.

IATA - International Air Transport Association (2017b), *Worldwide Airport Slots*,. Disponível em: <http://www.iata.org/policy/slots/Pages/index.aspx>. Acedido em 15/02/2017.

Kociubiński, J. (2014), “Regulatory challenges of airport slot allocation in the European Union”, *Wroclaw Review of Law, Administration & Economics*, Vol. 3, Nº 1, pp. 28-47.

Menaz, B. e Matthews, B. (2008), “Economic Perspectives on the Problem of Slot Allocation”, in Czerny, A. I., Forsyth P., Gillen, D. e Niemeier, H-M. (editores) (2008), *Airport Slots: International Experiences and Options for Reform*, 3, Hampshire England, Ashgate Publishing Limited, pp. 21–39.

NERA - National Economic Research Associates (2004), *Study to Assess the Effects of Different Slot Allocation Schemes*. Technical Report prepared for the European Commission. London, UK. Disponível em: http://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/studies/doc/airports/2004_01_slot_allocation_schemes.pdf. Acedido em 05/19/2015.

Oliveira, V. M. (2016), “Avaliação empírica dos impactos competitivos de regras regulatórias de redistribuição de slots em aeroportos”, *Journal of Transport Literature*, Vol. 10, Nº 4, pp. 40-44.

Reitzes, J., McVeigh B., Powers N. e Moy S. (2015), “Competitive Effects of Exchanges or Sales of Airport Landing Slots”, *Review of Industrial Organization*, Vol. 46, N° 2, pp. 95-125.

Sieg, G. (2010), “Grandfather rights in the market for airport slots”, *Transportation Research Part B*, Vol. 44, pp. 29 – 37.

Starkie, D. (1998), “Allocating airport slots: a role for the market?”, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 4, N° 2, pp.111-116.

Ulrich, C. (2008), “How the Present (IATA) Slot Allocation works”, in Czerny, A. I., Forsyth P., Gillen, D. e Niemeier, H-M. (editores) (2008), *Airport Slots: International Experiences and Options for Reform*, 2, Hampshire England, Ashgate Publishing Limited, pp. 9–20.